

# Optimierung des Umschmelzverfahrens flammgespritzter NiCrBSi-TiB<sub>2</sub>-Beschichtungen und Untersuchung der tribologischen Eigenschaften

Autoren: Norbert Kazamer, Petru Vălean, Dragos Pascal, Gabriela Marginean und Viorel-Aurel Serban

## Hintergrund und Ziel der Arbeit

- Das thermische Spritzen ist eine der wichtigsten Verfahren der Oberflächentechnik, um große metallische Bauteile vor Verschleiß zu schützen. Bei Beschichtungen aus selbstfließenden Ni-Basis-Legierungen beeinflusst die thermische Nachbehandlung die Qualität eines gesamten Bauteils. Aus diesem Grund wird der Optimierungsprozess der Wärmebehandlungsparameter empfohlen.
- TiB<sub>2</sub> ist ein interessanter Werkstoff für eine Modifizierung der selbstfließenden Ni-Basis-Legierungen, da er einige attraktive Eigenschaften wie hohe Härte, gute Kriechfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit, sowie gute chemische Stabilität aufweist [1].
- Mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung (*Design of Experiments - DOE*) wird ein mathematisches Modell entwickelt, um den Prozess der Wärmebehandlung zu optimieren. Dieses statistische Verfahren konzentriert sich auf die Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit eines Prozesses. Dabei sind Temperatur und Zeit die ausgewählten Eingangsparameter und die Porosität, die Härte und ihre Standardabweichung die zu optimierenden Antwortvariablen. Diese Parameter wurden weitgehend als Antworten bei der Optimierung von thermisch gespritzten Beschichtungen verwendet [2-3].
- Diese Arbeit konzentriert sich auf die Optimierung der Nachbehandlung thermisch gespritzter Schichten. Das Verschleißverhalten der optimierten vakuumbehandelten NiCrBSi-TiB<sub>2</sub>-Schicht wurde mit der konventionellen flammumgeschmolzenen NiCrBSi-Schicht verglichen.

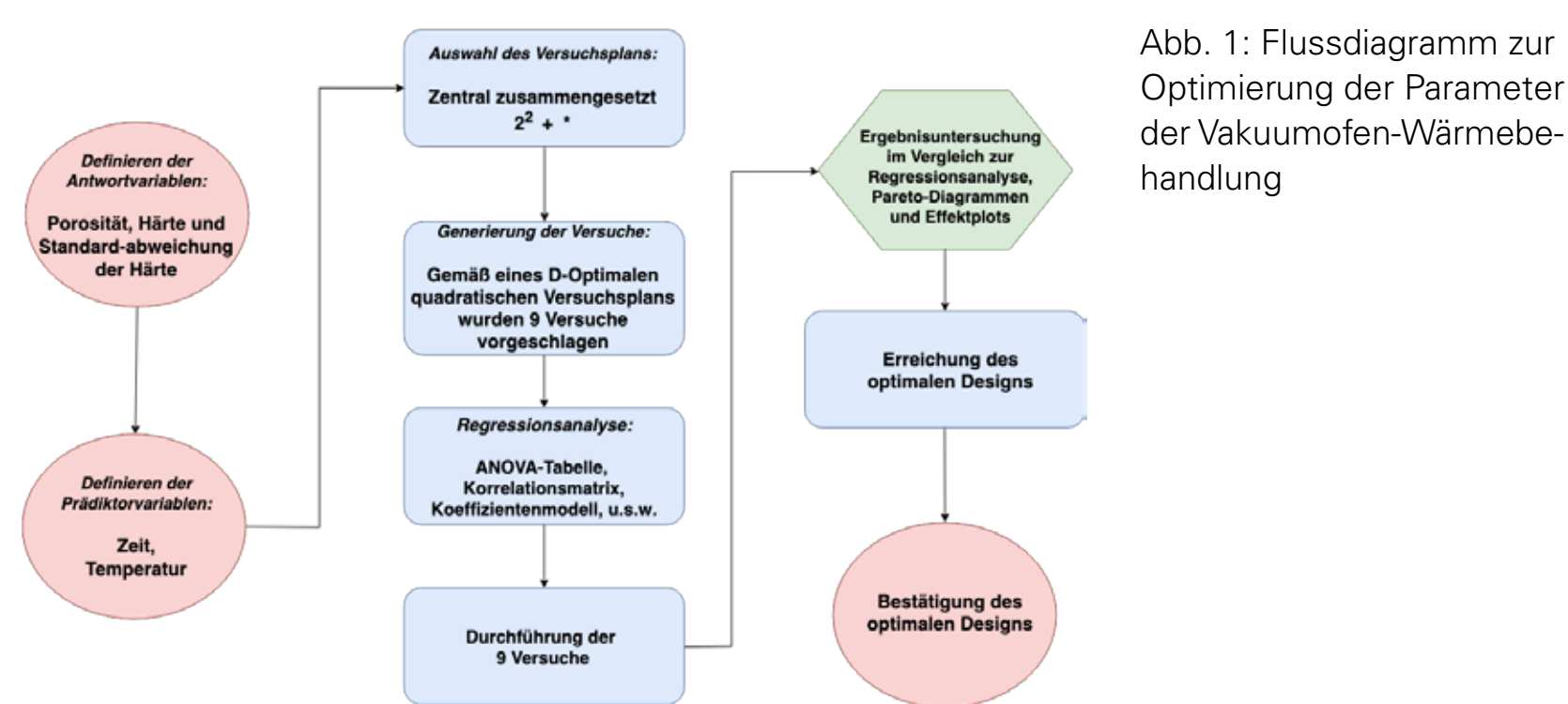


Abb. 1: Flussdiagramm zur Optimierung der Parameter der Vakuumofen-Wärmebehandlung

Tab. 1: Ergebnisse des Versuchsprogramms für die NiCrBSi + 5%TiB<sub>2</sub>, NiCrBSi + 10%TiB<sub>2</sub>, NiCrBSi + 15%TiB<sub>2</sub> und NiCrBSi + 20%TiB<sub>2</sub>-Proben

N	NiCrBSi-5%TiB <sub>2</sub>				NiCrBSi-10%TiB <sub>2</sub>				NiCrBSi-15%TiB <sub>2</sub>				NiCrBSi-20%TiB <sub>2</sub>					
	T [min]	T [°C]	H [HV0.3]	σ [MPa]	T [min]	T [°C]	H [HV0.3]	σ [MPa]	T [min]	T [°C]	H [HV0.3]	σ [MPa]	T [min]	T [°C]	H [HV0.3]	σ [MPa]		
1	30	1020	5.95	330	34	0.53	3.44	376	48	0.73	5.23	304	52	0.51	4.58	337	51	0.53
2	90	1020	2.25	311	34	0.71	3.8	328	78	0.53	4.25	280	38	0.55	7.23	304	79	0.32
3	30	1110	2.08	288	39	0.68	1.28	346	137	0	3.23	304	45	0.83	2.98	323	43	0.72
4	90	1110	1.3	277	42	0.66	1.02	302	89	0.52	3.12	351	37	0.82	1.41	292	86	0.47
5	28	1065	3.88	304	28	0.63	3.94	310	64	0.55	7.23	280	59	0.35	3.87	344	79	0.51
6	92	1065	2.83	352	80	0.59	9.6	366	117	0	3.22	345	40	0.7	1.47	371	142	0
7	60	1016	9.96	301	37	0.05	7.7	359	64	0.38	14.2	288	24	0	5	308	39	0.57
8	60	1114	3.9	315	47	0.61	8.03	239	47	0.25	2	314	24	0.75	1.3	283	62	0.61
9	60	1065	6.84	319	89	0.33	13.64	319	89	0	3.46	337	52	0.65	3	315	67	0.58

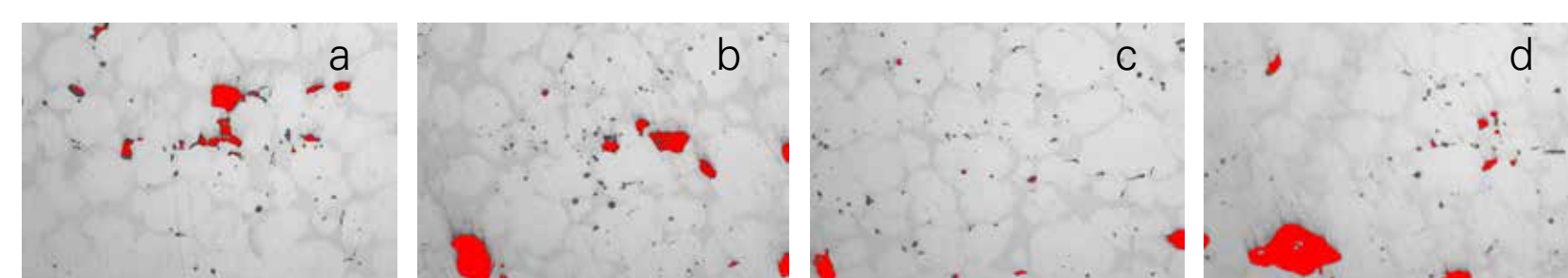


Abb. 2: Beispiel Porositätsmessungen durch Bildanalyse der (a) NiCrBSi + 5%TiB<sub>2</sub>, (b) NiCrBSi + 10%TiB<sub>2</sub>, (c) NiCrBSi + 15%TiB<sub>2</sub> und (d) NiCrBSi + 20%TiB<sub>2</sub>-Proben

Das von Myers und Montgomery entwickelte Erwünschtheit-Konzept ist eine häufig angewandte und einfach zu visualisierende Mehrfach-Antwortvariable-Methode zur statistischen Optimierung [3]. Die Idee hinter dem Konzept ist, dass die Werte eines bestimmten Prozesses oder Produkts innerhalb der Grenzen der definierten Antwortvariablen liegen müssen. Die Methode ordnet den Ergebnissen der Antworten einen Wert zwischen 0 und 1 zu. Eine vollständige "Unerwünschtheit" ist erreicht, wenn die Ergebnisse der Versuchsreihen des Prozesses außerhalb seiner definierten unteren und oberen Grenzwerte liegen, die den Wert 0 annehmen. Wenn der gewünschte Wert der Antwort durch die Ergebnisse der Läufe erreicht wird, steigt der Wert in Richtung 1.

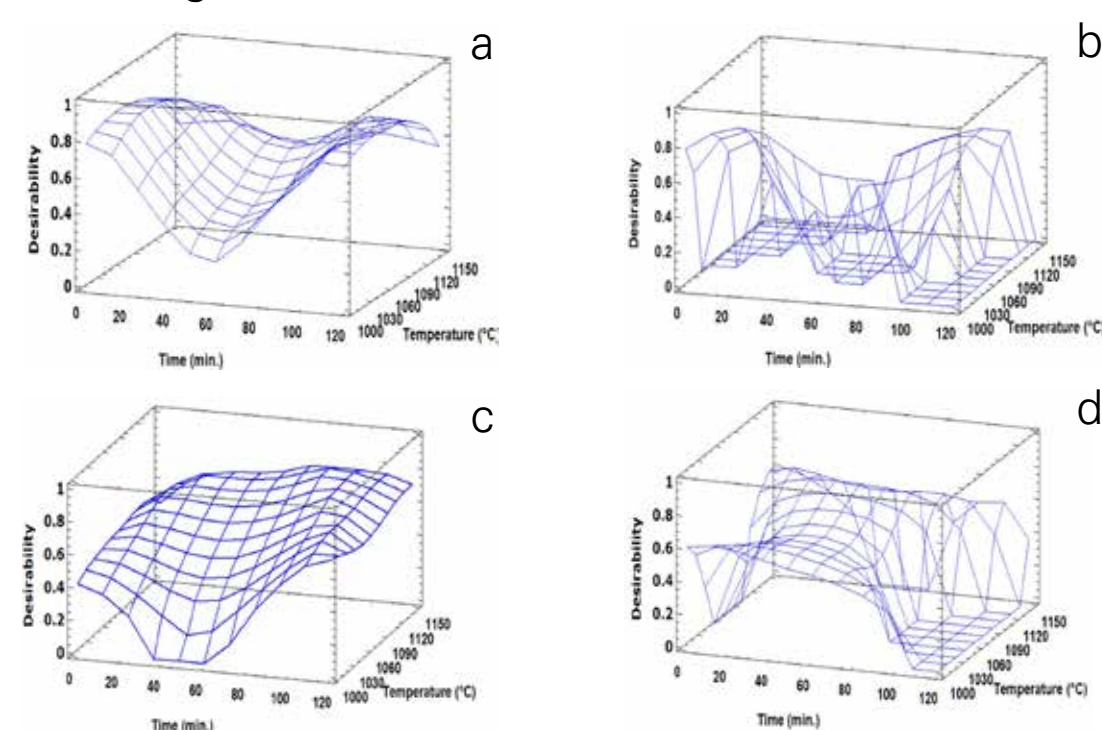


Abb. 3: Die Erwünschtheitsplots der (a) NiCrBSi + 5%TiB<sub>2</sub>, (b) NiCrBSi + 10%TiB<sub>2</sub>, (c) NiCrBSi + 15%TiB<sub>2</sub> und (d) NiCrBSi + 20%TiB<sub>2</sub>-Proben

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Optimierungsprozesses aus Tabelle 1 und der Erwünschtheitsplots lieferte das NiCrBSi + 15%TiB<sub>2</sub> die besten Ergebnisse. Tribologische Tests im Vergleich zu flammumgeschmolzenen NiCrBSi-Beschichtungen wurden durchgeführt.

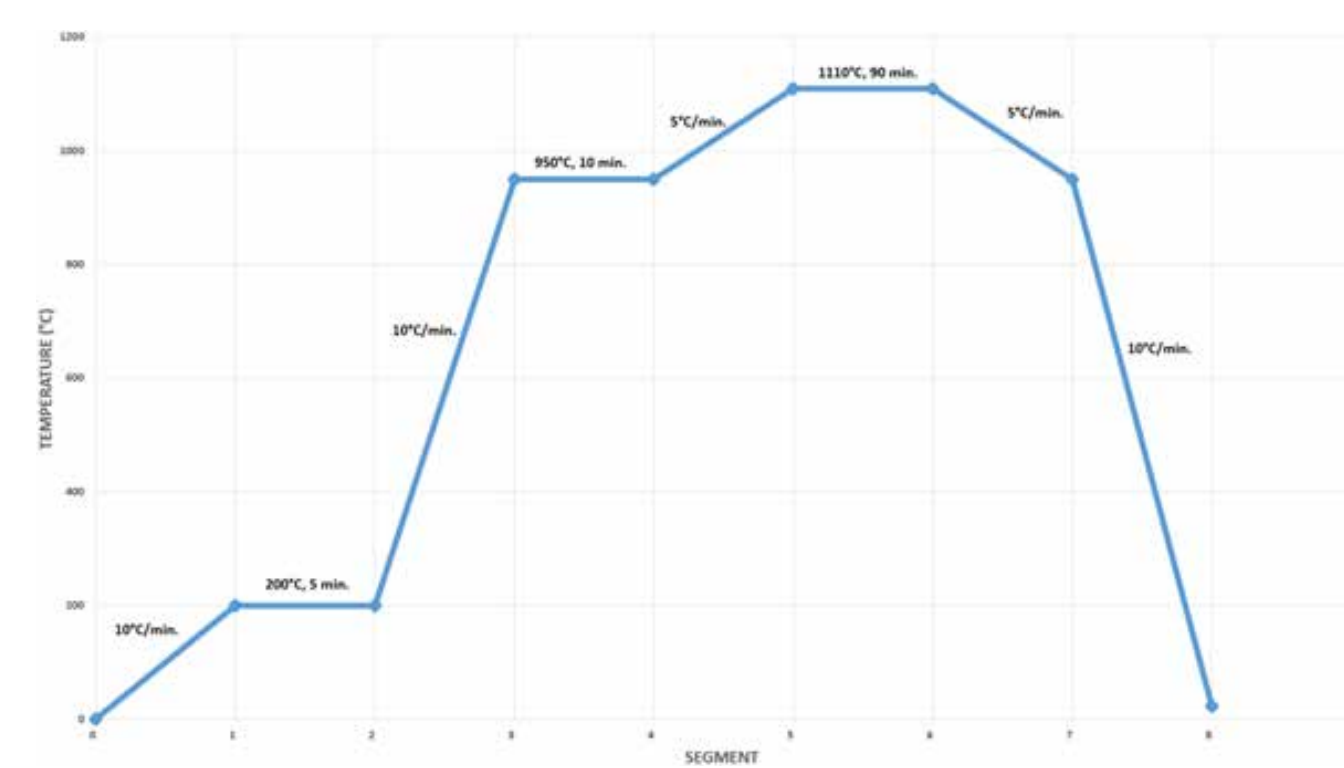


Abbildung 4: Optimierte Prozessparameter der Vakuum-Wärmebehandlung

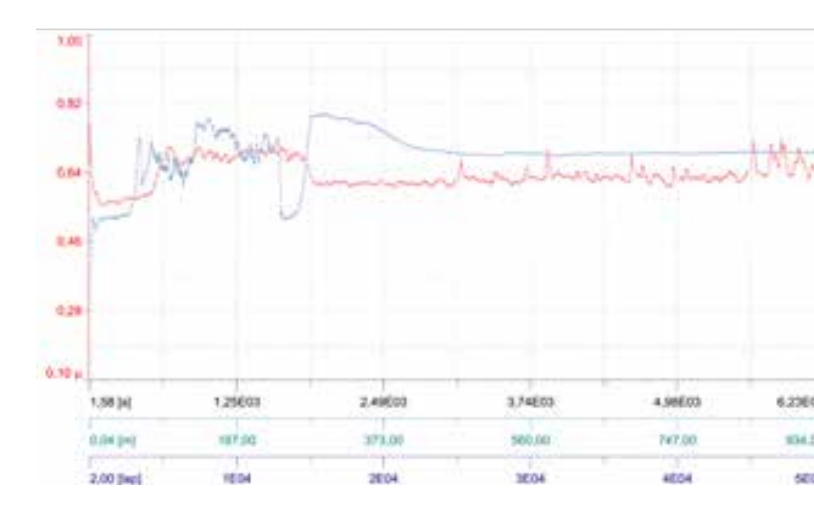


Abb. 5: Reibungskoeffizient von NiCrBSi (blau) und NiCrBSi-TiB<sub>2</sub> (rot) Beschichtungen mit einem 100Cr6-Gegenkörper

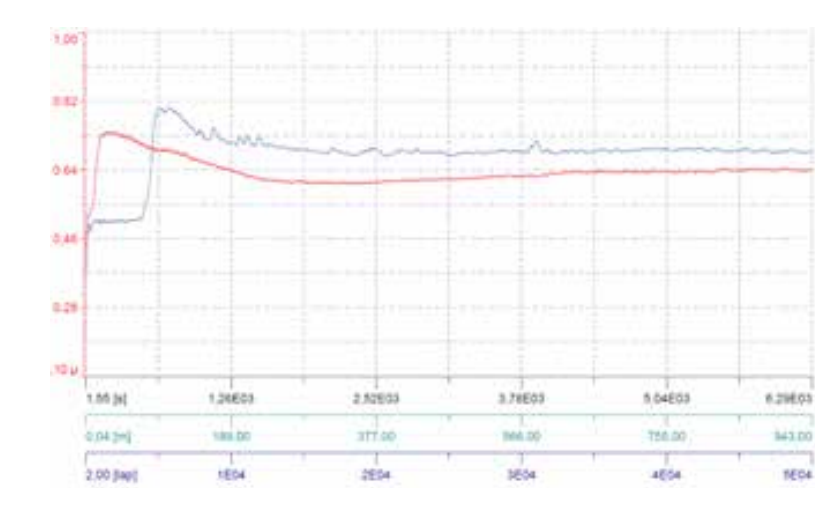


Abb. 6: Reibungskoeffizient von NiCrBSi (blau) und NiCrBSi-TiB<sub>2</sub> (rot) Beschichtungen mit einem WC-Co-Gegenkörper

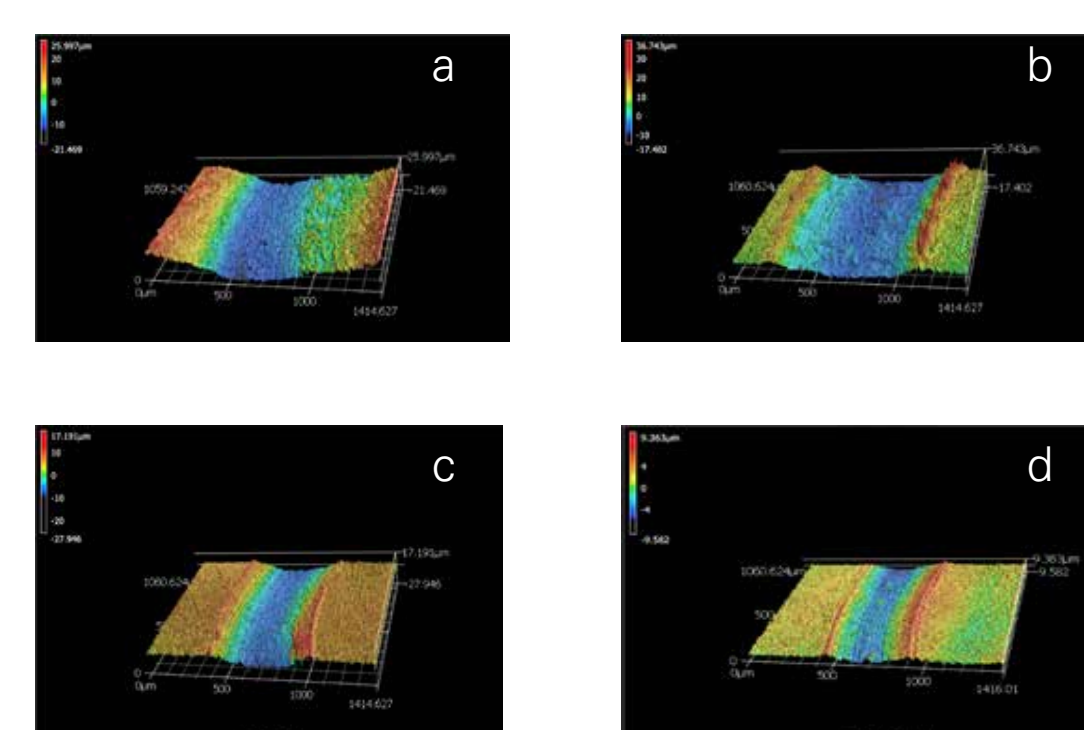


Abb. 7: Verschleißspurprofil von (a) NiCrBSi und (b) NiCrBSi-TiB<sub>2</sub> vs. 100Cr6 und (c) NiCrBSi und (d) NiCrBSi-TiB<sub>2</sub> vs. WC-Co

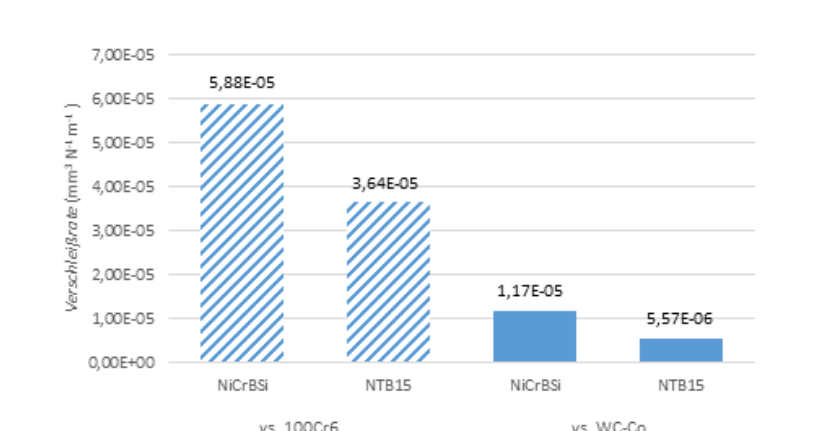


Abb. 8: Verschleißrate der NiCrBSi- und NiCrBSi-TiB<sub>2</sub>-Beschichtung

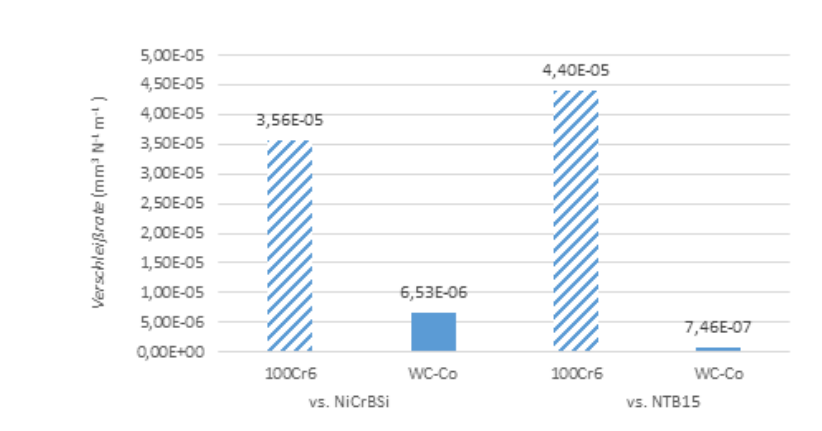


Abb. 9: Verschleißrate der 100Cr6- und WC-Co-Gegenkörper

## Fazit:

- Mechanisch gemischte NiCrBSi-TiB<sub>2</sub>-Pulver wurden erfolgreich thermisch gespritzt.
- Durch Anwendung der statistischen Versuchsplanung wurde die NiCrBSi-TiB<sub>2</sub>-Beschichtung mit dem Verhältnis 85:15 für weitere Tests ausgewählt.
- Die mit dem Vakuumofen umgeschmolzene NiCrBSi-TiB<sub>2</sub>-85-15-Beschichtung zeigt ein verbessertes tribologisches Verhalten gegenüber der konventionellen flammumgeschmolzenen NiCrBSi-Beschichtung.

Die Proben wurden in Kooperation mit der Firma Karl Schuhmacher GmbH, Bochum, erstellt.

## Referenzliste

- [1] BASU, B., G.B. RAJU, A.K. SURI, 2016. *Int Mater Rev.* 2016 Dec 1. 51(6): 352-74.
- [2] PIERLOT, C., L. PAWLOWSKI, M. BIGAN, P. CHAGNON, 2008. *3 Rencontres Int Proj Therm.* 2008 Jun 15; 202(18): 4483-90.
- [3] MYERS, R. H., D. C. MONTGOMERY, C. M. ANDERSON-COOK, 2009. - US: John Wiley & Sons, Ltd; 2009. 1247 p.

## Kontakt

Dr. Gabriela Marginean  
Neidenburger Str. 43  
45897 Gelsenkirchen  
Tel.: +49 209 9596-353  
gabriela.marginean@w-hs.de

Norbert Kazamer, M.Sc.  
Neidenburger Str. 43  
45897 Gelsenkirchen  
Tel.: +49 209 9596-162  
norbert.kazamer@w-hs.de

Westfälische Hochschule  
Fachbereich Maschinenbau und Facilities Management  
www.w-hs.de